

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

**РОЗРОБКА ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ІМПУЛЬСНОЇ МІКРОПЛАЗМОВОЇ
УСТАНОВКИ**

**Шифр
НАДІЙНІСТЬ**

2021

Зміст

Вступ.....	3
1Принцип функціонування імпульсної мікроплазмової установки	5
2.Розробка джерела живлення мікроплазмової установки	9
2.1 Проектування вимірювального каналу	9
2.1 Розробка високовольтного джерела живлення.....	13
2.2 Проектування імпульсного джерела живлення установки	18
2.3 Людино-машинний інтерфейс пульта управління	21
2.4 Вибір мікроконтролера установки	22
2.5 Проектування пристроїв живлення підсистем	23
Висновки.....	27
Список літератури	28
Додаток А. Розрахунок зворотньоходового трансформатора	29
Додаток Б. Електрична схема джерела живлення мікроплазмової установки ...	32

Вступ

Мікроплазмові процеси знаходять широке застосування в технологічних процесах. Це локальна термообробка, нанесення покриттів, мікроплазмове зварювання. Наприклад, в медицині мікроплазмове зварювання добре зарекомендувала себе при виготовленні зубних протезів і різних ортопедичних апаратів.

Застосування обладнання мікроплазмової обробки передбачає точне дозування енергії. Використання імпульсної модуляції дозволяє налаштовувати технологічний процес не тільки за силою струму і напруги, частоті формування, тривалості, але, і по потужності, і енергії імпульсу. Це дозволяє підвищити якість оброблюваної продукції.

Актуальність: імпульсні електродугові процеси в технологіях нанесення покриттів, термообробці, зварюванні і наплавленні є енерго- і ресурсозберігаючі. Розробка пристроїв для реалізації цих процесів актуальна.

Мета роботи: розробка джерела живлення імпульсної установки для мікроплазмового зварювання, нанесення покриттів наплавлення, локальної термічної обробки.

Завдання:

- розробка структурної схеми імпульсної мікроплазмової установки;
- розробка силового блоку;
- розробка осцилятора;
- розробка апаратної складової системи управління на базі мікроконтролера із зовнішніми пристроями управління.

Використана методика дослідження

- системний аналіз
- моделювання

Практичне застосування: застосування імпульсних мікроплазмових установок актуально при зварюванні тонкостінних конструкцій з нержавіючої

сталі, кольорових і ювелірних металів, в електроніці і медичного обладнання; при локальному нанесенні (наплавлення) металів іншого або того ж складу на оброблювану деталь, а також при місцевій термообробці, імпульсним методом.

1. Принцип функціонування імпульсної мікроплазмової установки

Мікроплазмова установка має складну конструкцію, елементи якої представлені на Рисунок 1.

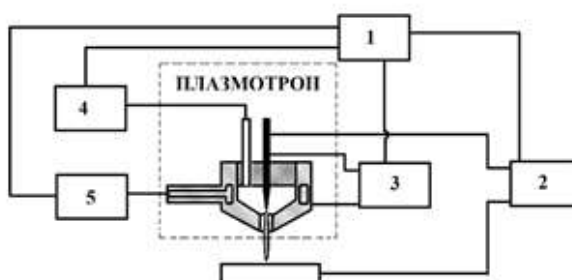


Рисунок 1 – Структурна взаємодія підсистем установки

Пояснення до рисунка:

1 – система управління, забезпечує управління всіма іншими підсистемами технологічного процесу.

2 – імпульсне джерело живлення пристрою.

3 – високовольтне джерело живлення.

4 – газова система. Забезпечує подачу газу, що формує плазму.

5 – гідравлічна система охолодження плазмотрона.

Залежно від умов застосування газова і гідравлічна системи можуть мати різні концепції конструкцій.

Технічні характеристики джерела живлення для імпульсної мікроплазмової установки представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Технічні характеристики установки

Найменування параметра	Значення
Діапазон робочої напруги, В	25...60
Діапазон амплітудних значень імпульсного струму, А	0.1...20
Діапазон робочих частот, Гц	20...1000

У роботі проектується установка з послідовним підключенням осцилятора, отже, структурно-функціональна схема має наступний вигляд, зображений на Рисунок 2.

До складу установки входять пульт управління, імпульсне джерело живлення, вимірювальний канал, осцилятор.

Імпульсне джерело живлення включає в себе: силовий трансформатор, механічний мультиплексор, випрямляч, конденсаторну батарею, драйвер силового ключа (використовується для гальванічного розв'язаного управління транзистором), силовий ключ і вимірювальний канал.

У ролі вимірювального каналу виступають датчики струму і напруги. Дані з датчиків отримує мікроконтролер для подальшого їх використання та аналізування.

Пульт управління складається з мікроконтролера, дисплея, клавіатури.

Наступний блок – осцилятор: випрямляч, стабілізатор напруги, силовий ключ, трансформатор високої напруги.

Однофазне живлення подається через автоматичний вимикач на силовий трансформатор, який на вторинній обмотці має вбудований механічний мультиплексор, що представляє собою перемикач між обмотками трансформатора, для регулювання амплітуди вихідної напруги в діапазонах {25В, 30В, 45В, 50В, 55В, 60В}. Після трансформатора розташований випрямляч, що заряджає конденсаторну батарею постійною пульсуючою напругою. Батарея забезпечує накопиченою енергією імпульси струму плазмотрона. В процесі роботи при відсутності електричного струму електричного струму плазмотрона, мікроконтролер подає сигнал включення на осцилятор. Осцилятор починає працювати в автоколивальному режимі, поки є відповідний сигнал від мікроконтролера, генеруючи високовольтні і високочастотні імпульси за допомогою підвищувального трансформатора. Імпульси поступають на узгоджувачий трансформатор, включений послідовно з плазмотроном, і завдяки ефекту самоіндукції, імпульси передаються на виріб.

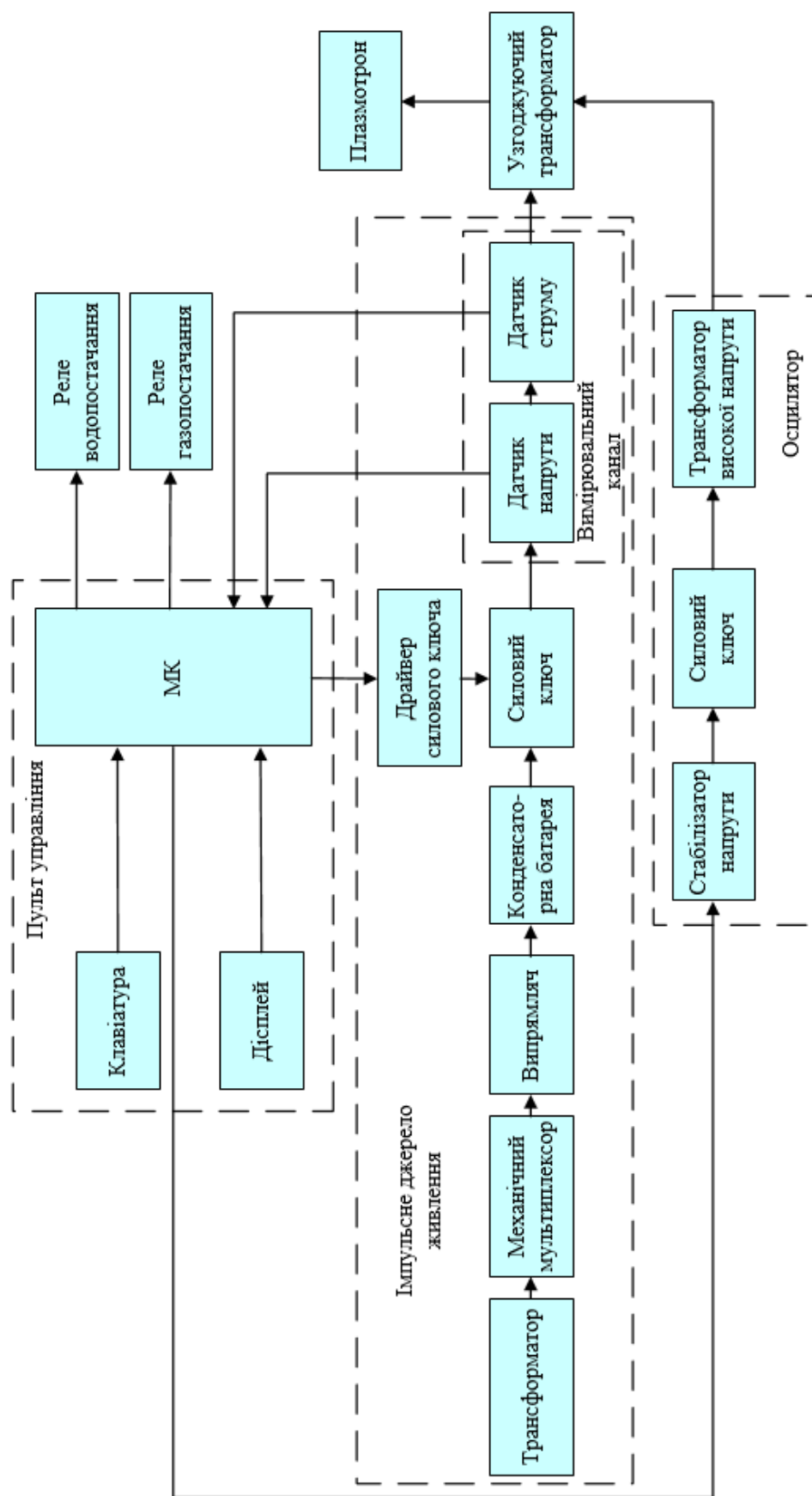


Рисунок 2 – Структурно-функціональна схема імпульсної мікроплазмової установки

За допомогою пульта управління маємо можливість задати режим роботи осцилятора; частотою роботи імпульсного джерела живлення і тривалістю імпульсу, завдяки застосуванню імпульсної модуляції, що в кінцевому підсумку визначає вихідну потужність імпульсів. Або стежити за даними з датчиків, станів реле газо- і водопостачання.

2. Розробка джерела живлення мікроплазмової установки

2.1 Проектування вимірювального каналу

Для обробки сигналів з датчиків будемо використовуватися цифровий метод.

Вибираємо в якості перетворювача аналогового вхідного сигналу в дискретний високошвидкісний потік даних – однорозрядний сигма-дельта-модулятор (сигма-дельта АЦП) ACPL-C797, який до того ж має гальванічну розв'язку, що збільшує безпеку мікроконтролера при виході з ладу периферії.

ACPL-C797 має наступні характеристики:

- вбудований тактовий генератор на 10МГц
- роздільна здатність АЦП 16 розрядів без пропуску кодів (ефективна розрядність 12 біт)
- відношення сигнал/шум 78дБ (типове)
- лінійний діапазон вхідної напруги перетворювача $\pm 200\text{мВ}$ при напрузі живлення 5В (повний діапазон $\pm 320\text{мВ}$)
- діапазон напруги живлення схеми цифрового інтерфейсу від 3-5.5В

З ДС АЦП рекомендується застосовувати в парі цифровий фільтр, так званий sinc-фільтр. Причиною служить внутрішня частота модулятора в 10МГц, яка у багато разів перевищує частоту оновлення вхідних даних, тому щільність шуму квантування буде нижче на низькій частоті і вище на високій частоті (так як внутрішній модулятор також генерує високочастотний шум). А для мети зменшення високочастотного шуму квантування використовується sinc-фільтр, цифровий фільтр нижніх частот.

Так само sinc-фільтр виконує ще одну не мало важливу функцію – децимацію (проріджування). Знижує частоту одержуваних даних на коефіцієнт децимації. Це визначає ширину смуги одержуваних даних. Великі коефіцієнти децимації дають вузьку смугу даних, що призводить до хороших шумових

характеристикам, але зменшується швидкість цифрового інтерфейсу. У таблиці 2 ілюструється можливі співвідношення між ефективною роздільною здатністю і швидкістю, при різних коефіцієнтах децимації.

Таблиця 2.Отримання ефективних значень роздільної здатності і швидкості, при різних коеф. децимації.

Коеф. децимації	Тактова частота модулятора 10 МГц		
	Смуга пропускання, кГц	Ефект. розрядність	Затримка фільтра, мкс
256	39.1	12	25.6
128	78.1	11	12.8
64	156.2	11	6.4
32	312.5	10	3.2

Даний фільтр може бути реалізований програмно, підключивши його до інтерфейсу SPI мікроконтролера, що і передбачається при проектуванні системи управління в даній роботі.

Тоді структура вимірювального каналу установки має наступний вигляд, представлений на Рисунок 3.

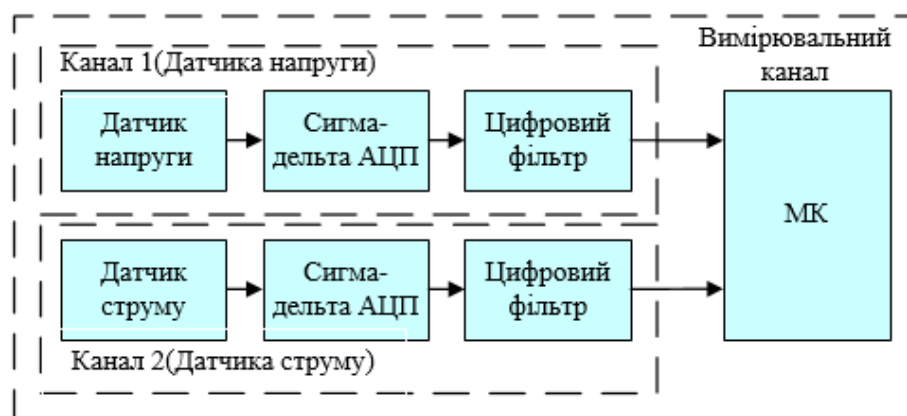


Рисунок 3 – Структурна схема вимірювального каналу

Канал складається з датчиків напруги (у вигляді дільника напруги) і струму (шунтувальний резистор), двох сигма-дельта АЦП і двох цифрових фільтрів.

Перейдемо до розрахунку датчиків. Включення ACPL-C797 до вимірювального елемента виконаємо за рекомендованою електричною схемою підключення з даташиту на ДС АЦП. Це з'єднання (до шунтувального резистора і дільника напруги) зображено на Рисунок 4.

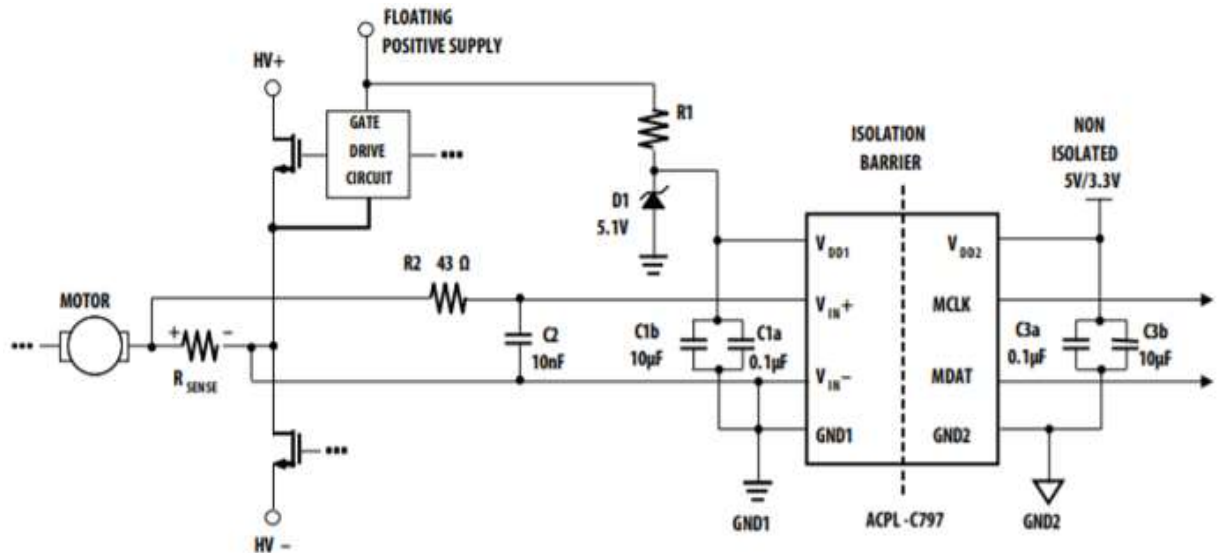


Рисунок 4 – Схема підключення СД АЦП до вимірювального елемента.

Номінали периферійних компонентів для СД АЦП будемо використовувати ті, які рекомендуються в даташиті на ACPL-C797.

Для розрахунку шунтувального резистора будуть потрібні вхідні дані з таблиці 1. Прийнемо максимальний робочий струм плазмотрона 20А.

Так як макс. вхідна напруга сигма-дельта АЦП ACPL-C797 дорівнює $\pm 320\text{мВ}$, а рекомендована $\pm 200\text{мВ}$, то далі будемо спиратися тільки на рекомендоване значення вхідної напруги.

Знайдемо значення напруги, що припадає на вимірювальний 1А:

$$\frac{U_{irec}}{I_{dmax}} = U_i [B/A]$$

де $U_{irec} = +200\text{мВ}$, так як плазмотрон використовує для зварювання постійний струм, рекомендована амплітуда вхідної напруги на АЦП.

$I_{dmax} = 20\text{А}$, максимальний струм установки.

$$\frac{200\text{мВ}}{20\text{А}} = 10 \frac{\text{мВ}}{\text{А}}$$

Далі максимальний вимірюваний струм шунтом:

$$\frac{U_{imax}}{U_i} = I_{imax} [A]$$

де $U_{imax} = + 320\text{мВ}$, максимальна амплітуда вхідної напруги на АЦП.

$$\frac{320\text{мВ}}{10\text{мВ}} = 32A$$

І за допомогою закону Ома визначимо номінал опору шунтувального резистора:

$$R_i = \frac{U_{imax}}{I_{imax}} = \frac{320\text{мВ}}{32A} = 0.010\text{м}$$

З потужністю: $P = I_{max}^2 \cdot R_i = 20^2 \cdot 0.01 = 4 \text{ Вт}$

Вибираємо шунтувальний резистор – $0.01\Omega \pm 1\% 5\text{W RoHS}$ з маркуванням SBN-K-10F.

Тепер розрахуємо дільник напруги (Рисунок 5) За формулою, наведеною нижче, заснованої на законі Ома.

$$\frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

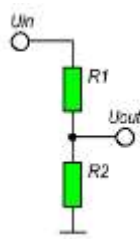


Рисунок 5 – Дільник напруги (R_2 як датчик напруги)

Прийнявши, знаходимо $R_2:R_1 = 300\text{кОм}$, а $U_{out} = +200\text{мВ}$

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot U_{in}}{U_{in} - U_{out}} - R_1 = \frac{300\text{к} \cdot 60}{60 - 0.2} - 300\text{к} = 1\,003\text{ Ом} \sim 1\text{ кОм}$$

де $U_{in} = 60\text{В}$ - максимальна вхідний напруга;

$U_{out} = + 200\text{мВ}$ - рекомендована вхідна напруга на СД АЦП, вихідна напруга з дільника.

Визначимо струм в ланцюзі дільника:

$$I = \frac{U_{in}}{R_1 + R_2} = \frac{60}{300\text{к} + 1\text{к}} = 1.99 \cdot 10^{-4}\text{А} \sim 0.2\text{ мА}$$

І потужність резисторів дорівнює:

$$R_1 = U_{R1} \cdot I = 59.8 \cdot 0.2 \cdot 10^{-3} = 12 \text{ мВТ}$$

$$R_2 = U_{R2} \cdot I = 0.2 \cdot 0.2 \cdot 10^{-3} = 0.4 \text{ мкВт}$$

де $U_{R1} = 60 - U_{R2}$ – падіння напруги на R_1 ;

$U_{R2} = U_{out} = 200 \text{ мВ}$ – падіння напруги на R_2 ;

Вибираємо резистори:

- $R_1 - 300 \text{ к}\Omega \pm 5\% \text{ 5W}$ вивідний резистор RoHS з маркуванням MOF5WS-300K $\Omega \pm 5\% \text{ T}$
- $R_2 - 1 \text{ к}\Omega \pm 5\% \text{ 3W}$ вивідний резистор RoHS з маркуванням MOF3WS-1K $\Omega \pm 5\% \text{ T}$

2.1 Розробка високовольтного джерела живлення

Осцилятор – іскровий генератор високочастотних і високовольтних коливань малої потужності. Висока напруга, що подається осцилятором на електрод у вигляді імпульсів, дуже сильно полегшує запалювання дуги плазмотрона.

Осцилятор сконструйований на базі зворотньоходового трансформатора. Переваги цих трансформаторів перед прямоходовими, у використанні меншої кількості компонентів і вищого ККД (до 95%) в категорії потужності до 60 Вт. На Рисунок 6 показана електрична схема осцилятора на базі зворотньоходового трансформатора.

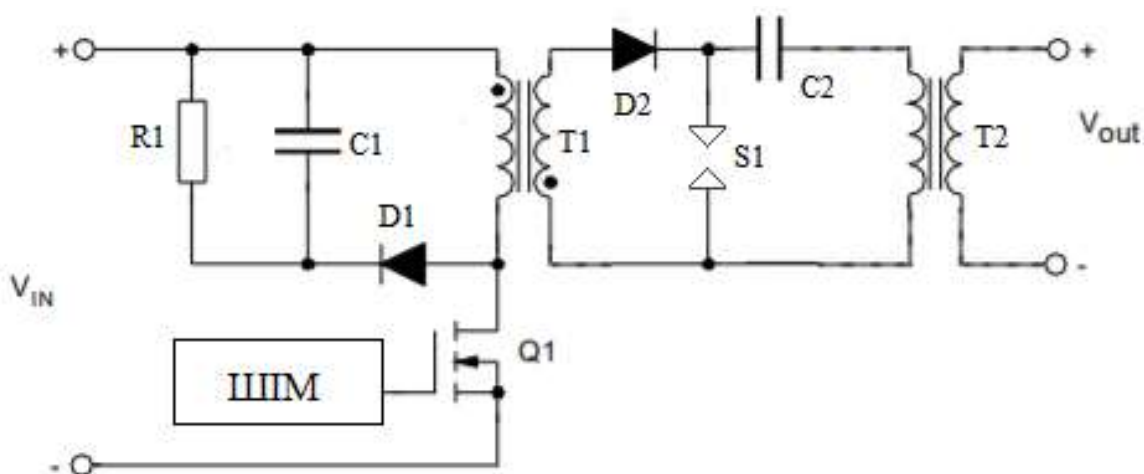


Рисунок 6 – Електрична схема осцилятора.

Елементи R_1 , C_1 , D_1 – являють собою ланцюг зменшення викидів від індуктивності розсіювання первинної обмотки, так званий «клампер». ШІМ

формує сигнал завдання потрібної частоти (частоту роботи осцилятора) на силовий ключ Q_1 , в даному випадку цей сигнал буде формувати мікроконтролер. Трансформатор T_1 та діод D_2 представляють типову конструкцію зворотньоходового перетворювача, а T_2 – узгоджуючий трансформатор, пов'язує стабілізатор дуги з силовою лінією плазмотрона.

Розрядник S_1 потрібен для формування високочастотних коливань на трансформаторі, T_1 заряджає конденсатор C_2 , і коли поріг спрацьовування розрядника досягнутий відбувається розряд, що і формує високочастотні коливання.

Дані для розробки наведені в таблиці 3.

Таблиця 3. Вступні дані для розробки стабілізатора дуги.

Параметр	Значення
Вх. напруга, В	24
Вих. напруга, кВ	3
Вих. струм, мкА	100
Частота роботи, кГц	50
Скважність імпульсів	50%

Насамперед розраховуються характеристики трансформатора (алгоритм розрахунку наведено в додатку А). В даному випадку обрали Ш-подібний сердечник EFD-25 марки фериту N87, з кількістю в два намотаних витка проводом ПЕТВ-0.16 (AWG35) на первинній обмотці та 216 витків проводом ПЕТ-155 на вторинній.

Перейдемо до силового ключа (Q_1). Силовий ключ зворотньоходового перетворювача повинен володіти двома основними властивостями – мати низький опір у відкритому стані і низький сумарний заряд перемикавання. Тому вибираємо mosfet IRF540N n-канальний (табл. 4) і драйвер для його гальванічного управління, FOD3184 (табл. 5).

Таблиця 4. Технічні характеристики IRF540N.

Параметр	Значення
Опір каналу (R_{DS}), Ом	0.04
Напруга витоку, В	100
Струм витоку, А	33
Напруга затвора, В	± 20
Потужність, що розсіюється, Вт	120
Час наростання (t_R), нс	57
Час спаду (t_F), нс	50

Таблиця 5. Характеристики FOD3184.

Затримка спрацьовування (оптопари), нс	250
Напруга живлення, В	0-30
Вихідна потужність, мВт	250
Вхідний струм, мА	25

Статичні втрати силового ключа:

$$P_{IRF540} = R_{DS} \cdot I_{RMS} = 0.04 \cdot 2.14 = 86 \text{ мВт}$$

Динамічні втрати при виключенні транзистора:

$$P_{OFF} = \frac{V_{DS} \cdot I_{PRI} \cdot t_F \cdot f}{2} = \frac{51.6 \cdot 4.44 \cdot 50 \cdot 10^{-9} \cdot 50000}{2} = 286 \text{ мВт}$$

Транзистора для поставлених завдань підходить, потужності, що розсіюється транзистором достатньо, щоб відмовитися від радіатора.

У ланцюзі зменшення викидів від індуктивності розсіювання (D_1 , R_1 , C_1), конденсатор C_1 повинен мати достатню ємність, щоб пульсації на ньому були невеликі, але і вище певної межі вибирати цей конденсатор немає ніякого сенсу. У нашому випадку цілком підійде вивідний дисковий керамічний конденсатор 10nF, 50V, з маркуванням HF1H103Z-L515B.

Пульсації на C_1 :

$$\Delta U_{C1} = \frac{I_{PRI}^2 \cdot L_{PRI}}{C_1 \cdot f} = \frac{4.44^2 \cdot 0.64 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-9} \cdot 50000} = 0.03 \text{ В}$$

VD₁ – діод Шотки 10SQ050 з характеристиками, прямий струм 10А, зворотня напруга 50В.

Підберемо опір резистора R₁ таким чином, щоб при максимальному перевантаженні напруга не перевищувало 24В. У нашому випадку R₁ = 10К. Потужність, що розсіюється на ньому, складе:

$$P_{R1} = \frac{V_{IN}^2}{R_1} = \frac{24^2}{10000} = 58\text{мВ}$$

Вибираємо резистор 10k 1% 1W з маркуванням MFR100SSFTB.

Діод D₂ – випрямний діод DD600, зі зворотною напругою 6кВ, прямим імпульсним струмом 300 мА. І конденсатор C2 – 4.7нF 5кV з маркуванням KF3H472M-L016BD13.5.

Вибираємо розрядник з порогом спрацьовування трохи меншим ніж амплітуда напруги на вторинній обмотці трансформатора T₁: розрядник з маркуванням EM2500X від фірми Epcos, двох вивідний, з порогом спрацьовування 2.2кВ.

Кінцева електрична схема стабілізатора дуги представлена на Рисунок 7.

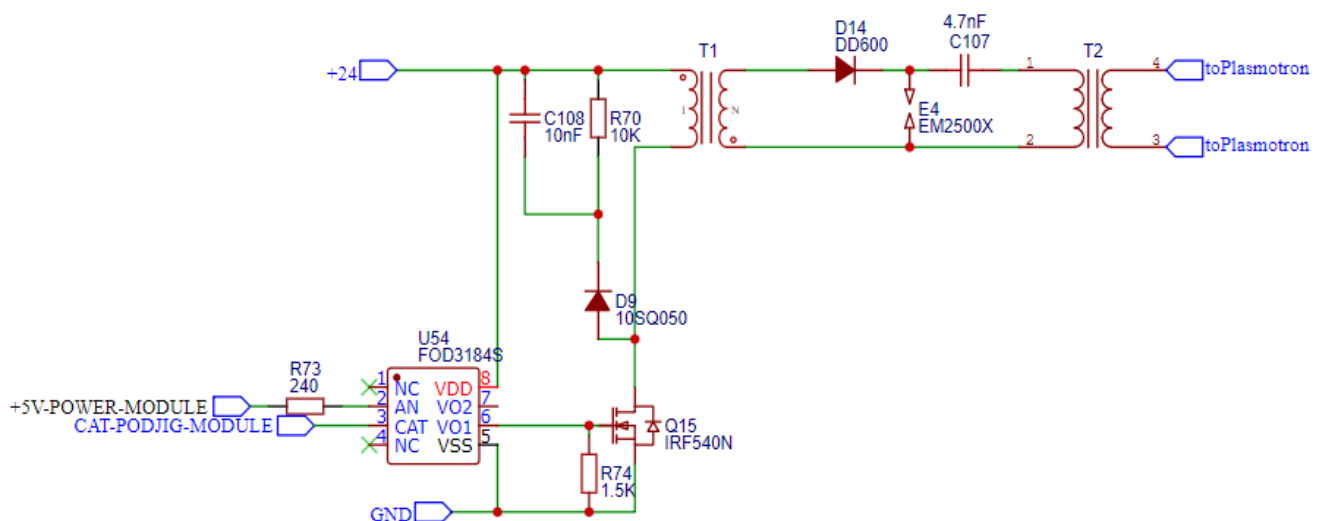


Рисунок 7 – Електрична схема осцилятора.

Феритовий сердечник узгоджувачого трансформатора оберемо марки M300ВНП-3. Первинна обмотка містить 5 витків проводу 0.05мм, вторинна – 10 і більше витків, в залежності від необхідної напруги, шиною розмірами достатніми для протікання зварювального струму.

Скористаємося програмним забезпеченням Multisim 10.1 для перевірки. Зібрана електрична схема в Multisim 10.1 приведена на Рисунок 8, Параметри генератора імпульсів: напруга логічної одиниці 24В, частота 50кГц і скважність 50%. А осцилограма амплітуди вихідної напруги з трансформатора Т₁ показана на рисунку 9, де вона дорівнює піковому значенню в 2.5кВ з частотою в 50кГц.

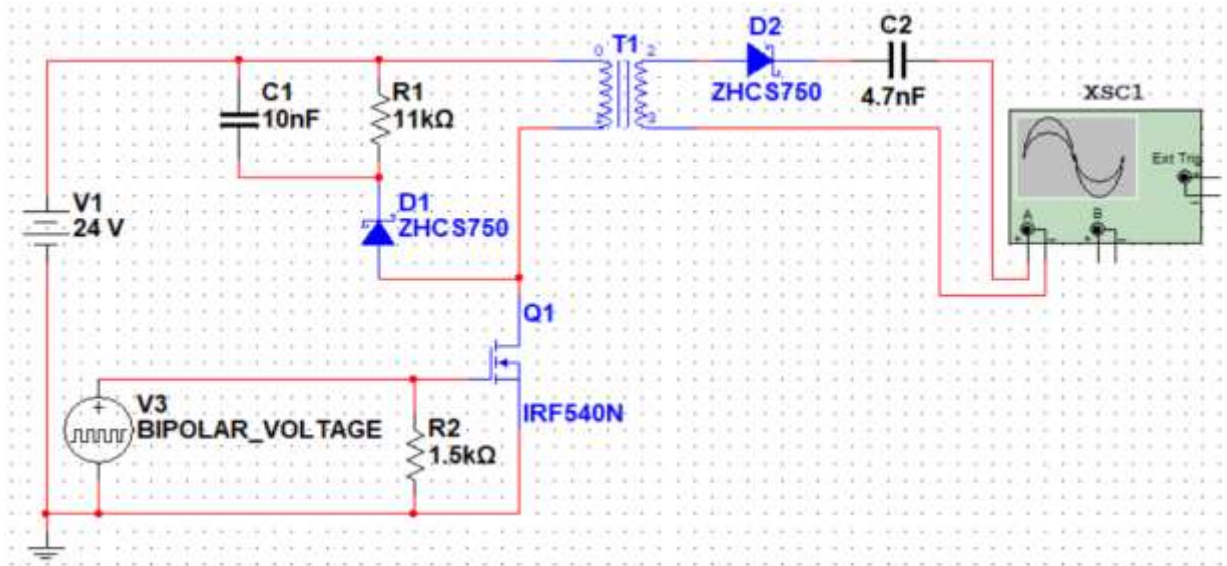


Рисунок 8 – Схема осцилятора в Multisim 10.1

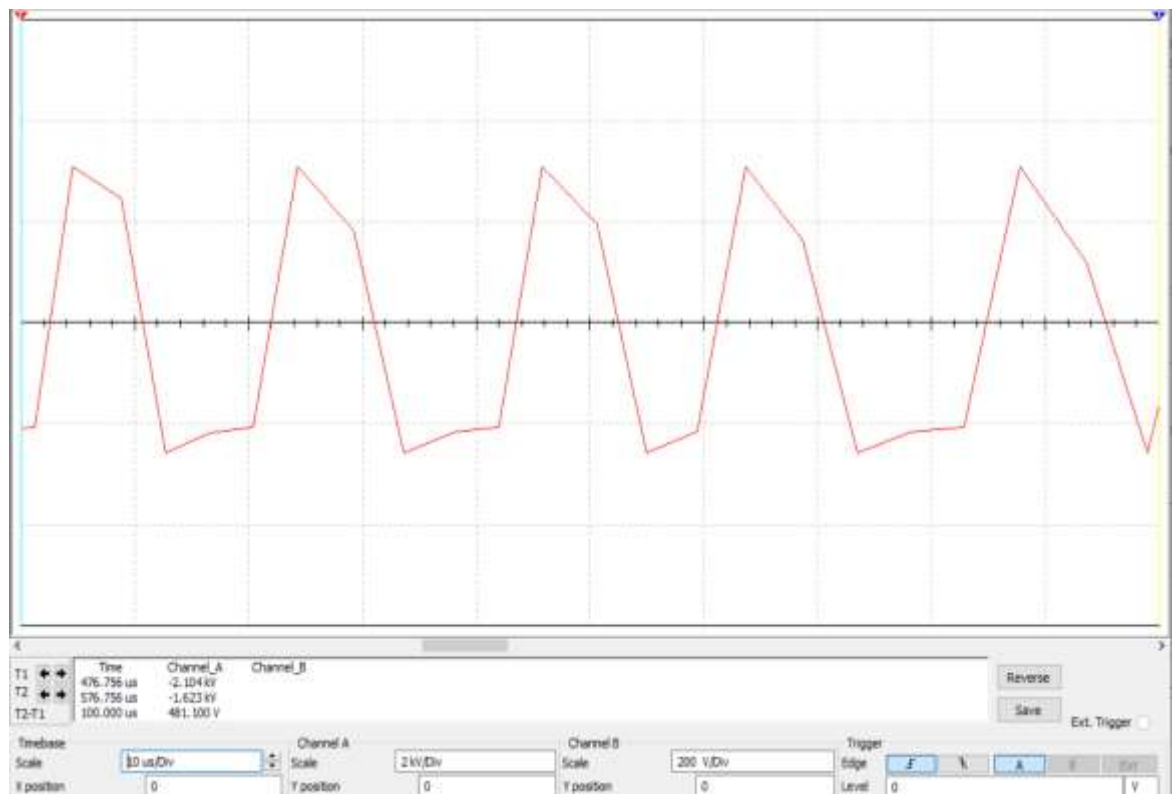


Рисунок 9 – Осцилограма напруги імпульсного високовольтного джерела живлення

2.2 Проектування імпульсного джерела живлення установки

Електрична схема імпульсного силового блоку показана на рисунку

10Error! Reference source not found..

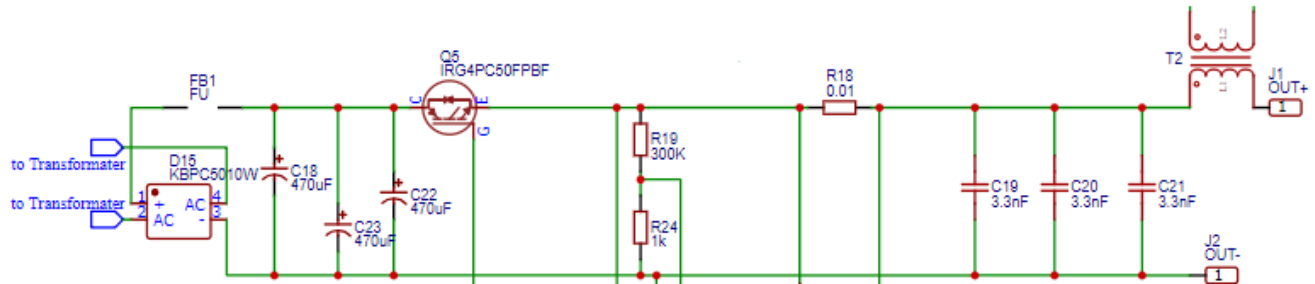


Рисунок 10 – Електрична схема силового блоку

На Рисунок 10 зображено: FU₁ – автоматичний вимикач, це елемент захисту схеми; Q₅ – транзисторний ключ; C₁₈, C₂₃, C₂₂ являють собою конденсаторну батарею, яка накопичує енергію і віддає при формуванні імпульсу транзистором; R₂₃ і R₂₄ – дільник напруги, датчик напруги; R₂₂ – шунтувальний резистор, датчик струму; C₁₉, C₂₀, C₂₁, шунтувальні конденсатори по високій частоті, викликану роботою осцилятора; T₁ – узгоджувачий трансформатор.

Зупинимося на автоматичному вимикачі MC130A Hager, з характеристиками:

- Характеристика спрацювання (клас): 3
- Номінальний струм: 30A
- Вимикаюча здатність: 6кА

Робота транзистора в установці передбачається в тривалому імпульсному режимі. Тому не зайвим буде знати, для подальших розрахунків, значення енергії, що віддається одним імпульсом. Знайдемо роботу одного імпульсу:

$$A = U_i \cdot I_i \cdot t = 60 \cdot 20 \cdot 0.002 = 2.4 \text{ Дж}$$

де U_i – амплітуда напруги імпульсу, 60В;

I_i – значення струму імпульсу, 20А;

t – тривалість імпульсу, приймаємо 2мс.

Далі знайдемо необхідну ємність конденсаторної батареї, з формули визначення енергії, якою запасастся конденсатор, припустивши, що енергія конденсатора дорівнює енергії одного імпульсу:

$$W = \frac{C \cdot U^2}{2}$$

де W – запасена енергія конденсатора, Дж;

C – ємність конденсатора, мкФ;

U – напруга заряду конденсатора, В;

тоді:

$$C = \frac{W \cdot 2}{U^2} = \frac{2.4 \cdot 2}{60^2} = 1.3 \text{ мФ}$$

Вибирати конденсатор слід з запасом за номіналом ємності, підійде три пускових конденсатора по 470мкФ 400В з маркуванням C44EFGR6470ZA0J, так як він здатний віддавати велику кількість енергії за малі проміжки часу.

Шунтувальні C_{19} , C_{20} , C_{21} оберемо із високовольтних керамічних дискових конденсаторів – 4.7nF 5kV з маркуванням KF3H472M-L016BD13.5.

Для імпульсно-ключового режиму відмінно підійде IGBT транзистор IRG4PC50WPbF, який має такі характеристики:

Напруга емітер-колектор (CE), В	600
Постійний струм CE ($T = 25^\circ \text{C}$), А	55
Пульсуючий струм CE, А	220
Напруга GE, В	± 20
Потужність, що розсіюється ($T = 100^\circ \text{C}$), Вт	78

А для безпечного управління мікроконтролера силовим транзистором IGBT/MOSGET, використовуємо раніше згадуваний драйвер з оптораствязкою FOD3184.

У програмному забезпеченні Multisim 10.1 зберемо модель електричної схеми імпульсного джерела живлення, отриману схему зображено на Рисунок 11.

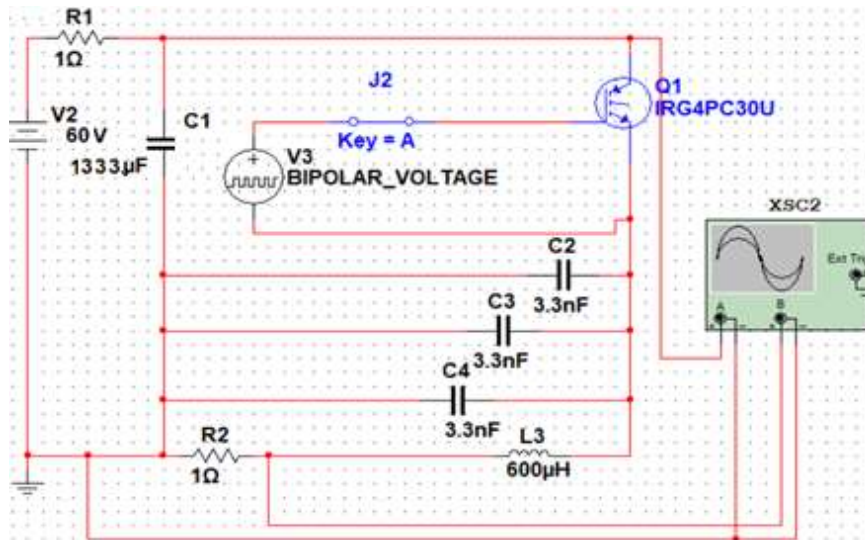


Рисунок 11– Схема силової частини в Multisim 10.1

Узгоджуючий трансформатора також є дроселем, який обмежує значення струму, що протікає через транзистор. Зміною його індуктивності в діапазоні 600мкГн- 20мГн, можна регулювати значення струму, від 20А до 0.1А, відповідно.

Параметри генератора імпульсів підключеного до затвору транзистора: 20Гц, тривалість імпульсу 2мс. R_1 – приймається як опору провідників, а R_2 – опір оброблюваної деталі.

Отримані осцилограми представлені на Рисунок 12.

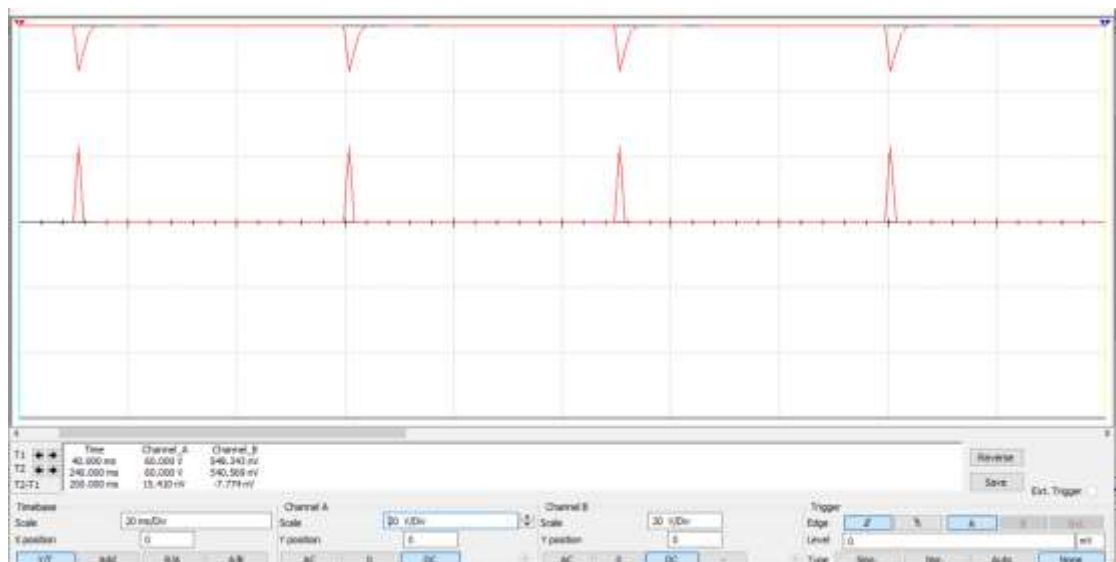


Рисунок 12 – Осцилограми напруг імпульсного джерела живлення

Верхня осцилограма це зміна напруги на конденсаторній батареї, а нижня – зміна напруги на оброблюваній деталі (ці показники при мінімальній індуктивності трансформатора).

2.3 Людино-машинний інтерфейс пульта управління

Для швидкої взаємодії і легкого параметрування установки мікроплазмового зварювання будемо застосовувати пристрої введення (клавіатура) і виведення (дисплей).

Дисплей вибираємо дисплей – LCD2004 (таблиця 6) і клавіатуру - KB1604-PAВ (таблиця 7), зі схемами підключенням до мікроконтролеру представленими на Рисунок 13 і Рисунок 14, Відповідно.

Таблиця 6. Технічні характеристики LCD2004.

Параметр	Значення
Кількість рядків	4
Кількість символів в рядку	20
Напруга живлення, В	5

Таблиця 7. Технічні характеристики KB1604-PAВ.

Параметр	Значення
Кількість кнопок	16
Ресурс, цикл	1000 000
Опір контакту, мОм	200
Робочий струм, мА	20
Робоча напруга, В	24

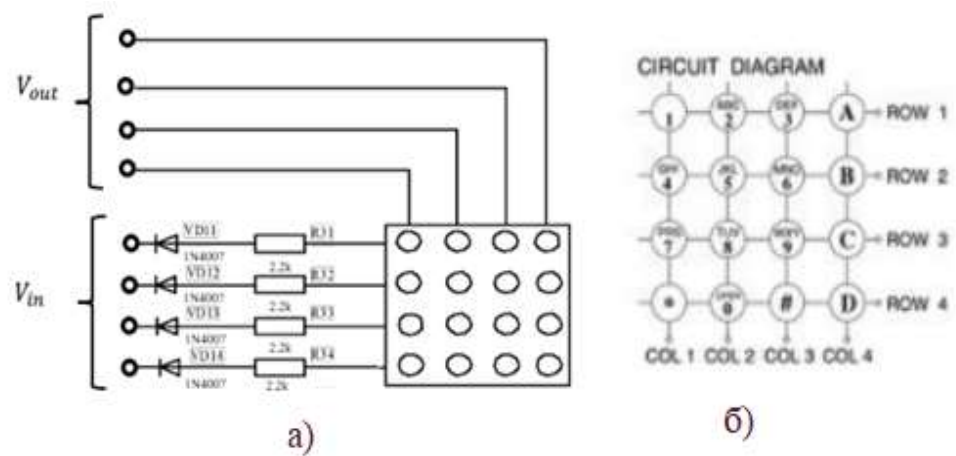


Рисунок 13 – Схема підключення до мікроконтролеру (а) і внутрішня схема (б).

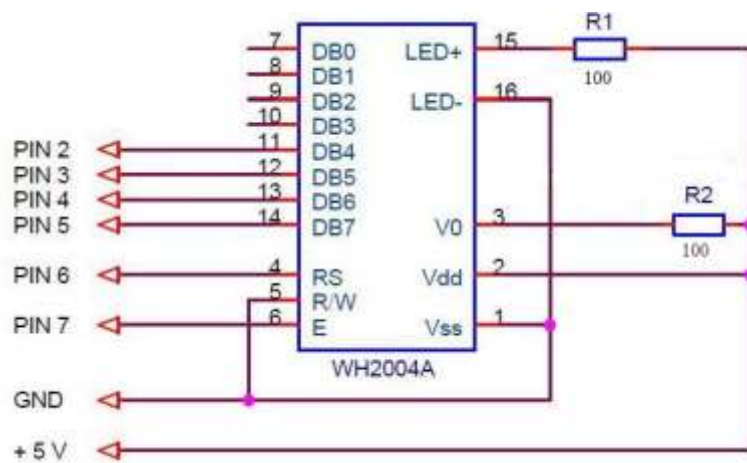


Рисунок 14 – Схема підключення дисплея (використовуються тільки старші біти) до мікроконтролеру

2.4 Вибір мікроконтролера установки

Вибір мікроконтролера обґрунтован його доступністю, не високою ціною і достатньою продуктивністю.

У таблиці 8 зазначено кількості та тип необхідних портів чинності / Виведення інформація для реалізації цієї системи.

Таблиця 8. Кількість і тип необхідних портів

Тип портів	Кількість
Порти введення	8
Порти виведення	9

Порти АЦП	2
Порти SPI	2

В якості керуючого мікроконтролера вибираємо отладочну плату на базі ARM32 Cortex-M4 - STM32F401CCU6. Мікроконтролери STM32 мають Гарвардський архітектуру. Технічні характеристики STM32F401CCU6 відображені в таблиці 9.

Таблиця 9 Характеристики мікроконтролера STM32F401CCU6–

Параметр	Значення
Тактова частота, МГц	84
Кількість входів / виходів	36
Обсяг оперативної пам'яті, КБ	64
Обсяг флеш пам'яті, КБ	256
Наявність АЦП / ЦАП	АЦП 1x12b (16 каналів)
Інтерфейси	I2C x3; SDIO; SPI x4; USART x3; USB OTG
Напруга живлення, В	3.3-5

2.5 Проектування пристроїв живлення підсистем

Всі системи установки вимагають живлення для їх функціонування. І почнемо з вибору трансформатора, з напругою на вторинній обмотці 12В і забезпечує струмом в 2А - Lemanso TRA25 50W.

Таблиця 10. Характеристики Lemanso TRA25 50W

Параметр	Значення
Вхідна напруга, В	220-240 ± 10% 50Гц
Вихідна напруга, В	12
Потужність, Вт	50

Після трансформатора потрібен випрямляч – діодний міст, запобіжник і стабілізуючий фільтр. Вибираємо в якості випрямляча – КМВ24F (прямий струм

2А, зворотна напруга 40В), запобіжник 047301.5MRT1L (граничний струм 1.6А, макс. Напруга-80В) і керамічні конденсатори 10мкФ - 10uF ± 10% 25V (1206B106K250NT) і 10nF ± 10% 50V (1206B103K500NT). Конденсатори з різним номіналом потрібні для зменшення перешкод і імпульсів різної частоти. Схема підключення представлена на Рисунок 15 (Трансформатора на схемі немає, так як він має зовнішнє розташування).

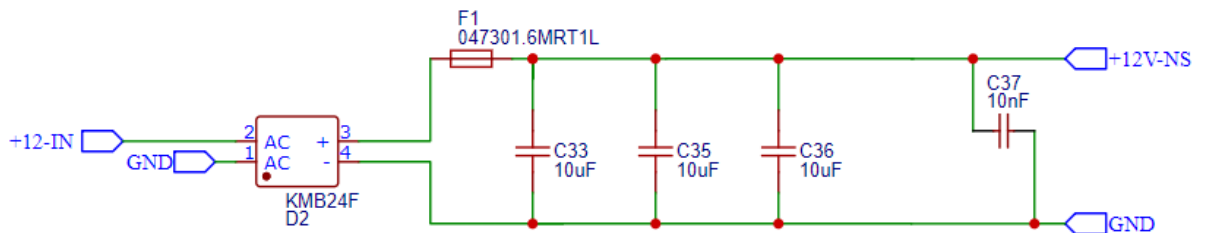


Рисунок 15 – Схема підключення попередніх елементів до стабілізатора

Для подальшої стабілізації напруги вибираємо понижуючий DC-DC перетворювач XL1509-ADJ, зі стандартною схемою підключення з даташита для 5В вихідної напруги (Рисунок 16), Який буде жити всю схему стабілізованою напругою.

Технічні характеристики XL1509-ADJ:

- вхідна напруга: 4,5 - 40 В;
- вихідна напруга: 1,23 - 37 В;
- максимальне навантаження: 2 А;
- функція вимикання при перегріві, обмежувач струму.

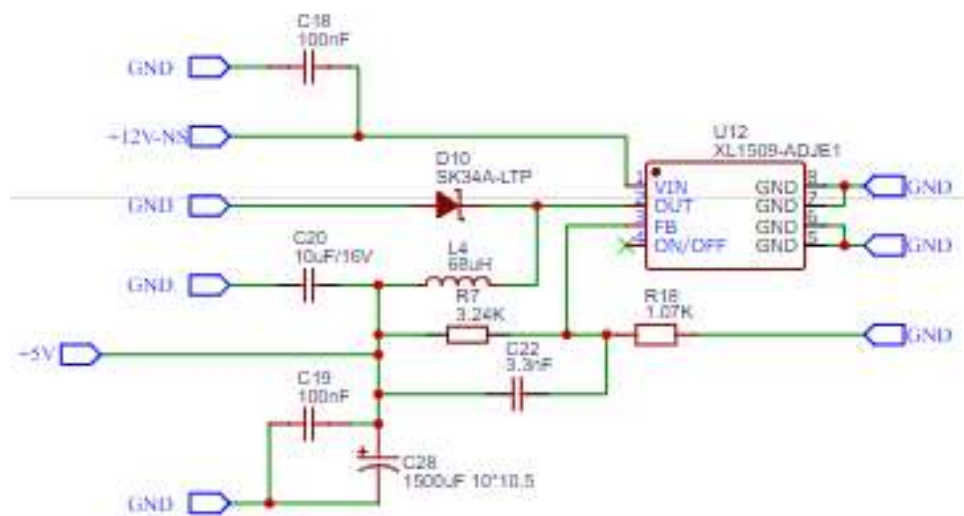


Рисунок 16 – Схема підключення DC-DC перетворювача XL1509-ADJ

На виході стабілізатора встановивши Г-подібний LC фільтр в розріз живлення інтегральних схем на платі з силовими компонентами (наприклад, оптронної частини ДС АЦП - ACPL-C790, Рисунок 17), доб'ємося зменшення імпульсів і високочастотних перешкод в процесі роботи установки, в ланцюзі живлення 5В. Виберемо котушку індуктивності не дуже великого номіналу, наприклад, $1\text{mH} \pm 20\%$ з маркуванням CD43YP0403-102M і конденсатор $10\mu\text{F} \pm 10\%$ 25V X7R 1206 з маркуванням 1206B106K250NT.

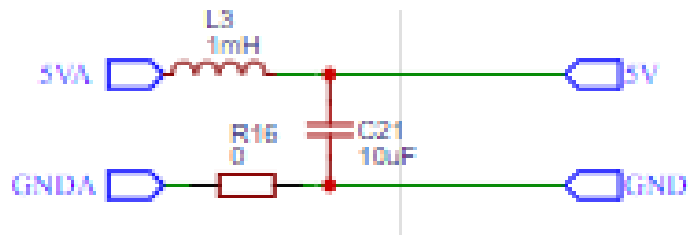


Рисунок 17 – LC фільтр Г-подібний для живлення ІС на силовій частини схеми

Для драйвера транзистора з міркувань безпеки і для безпеки мікроконтролера потрібне гальванічно розв'язане живлення, до того ж таке живлення і потрібно для вимірювальної частини ДС АЦП - ACPL-C790. Гальванічна розв'язка забезпечує, незалежність сигнальної частини, оскільки формується незалежний контур щодо вимірювального контуру силової частини, тим самим підвищується перешкодозахищеність і точність вимірювань.

Модуль B0505S-1W використовуємо для живлення вимірювального контуру АЦП (к-ть модулів дорівнює кол-ву АЦП). B0505S-1W - це перетворювач напруги з гальванічною розв'язкою вхідного і вихідного контурів. На Рисунок 18 представлений лише вид модуля в електричній схемі, без стабілізуючих напругу конденсаторів, так як вони вже присутні у кожного АЦП, в додаткових модулів не потребує)

Технічні характеристики B0505S-1W:

- Вхідна напруга: $5\text{V} \pm 10\%$ DC
- Вихідна напруга: $5\text{V} \pm 10\%$ DC
- Потужність: 1 Вт

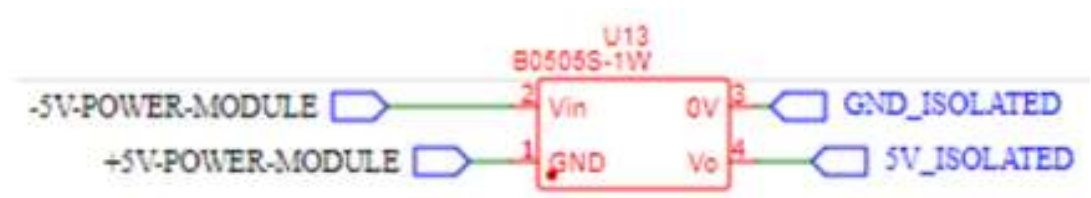


Рисунок 18 – Вид B0505S-1W модуля в електричній схемі

І для драйверів FOD3184S поставимо в ланцюг живлення модуль B0524S-1W, це той же модуль тільки з іншою напругою на виході. Схема підключення зображена на Рисунок 19.

Технічні характеристики B0245S-1W:

- Вхідна напруга: $5\text{В} \pm 10\%$ DC
- Вихідна напруга: 24В DC
- Потужність: 1 Вт

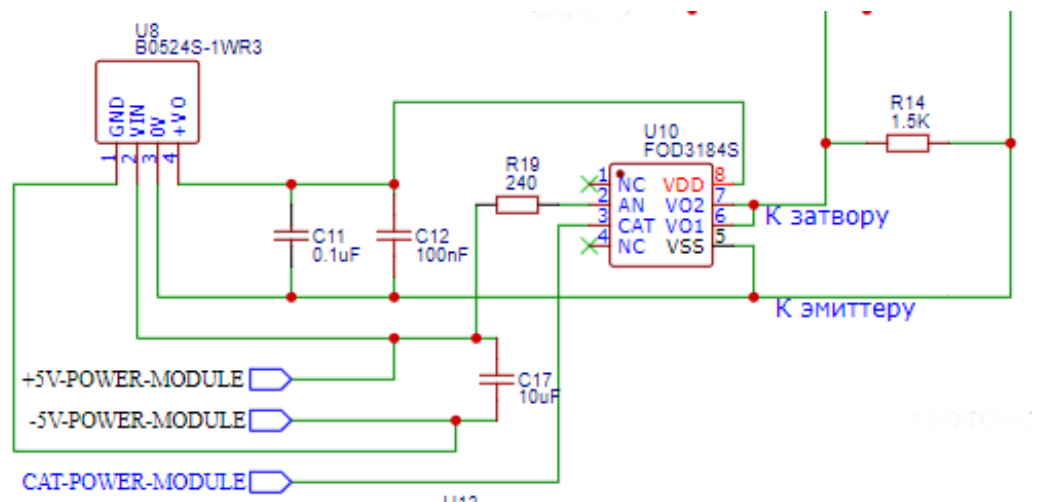


Рисунок 19 – Схема підключення B0524S-1W до FOD3184S

Живлення зворотньоходового трансформатора постійною напругою осцилятора буде проводитися за допомогою блоку живлення AC/DC на 24В 5А фірми АТАВА 120Вт з наступними характеристиками:

- Вх. напруга: AC 110В / 220В + 15% В 50-60Гц
- Потужність: 120Вт
- Напруга на виході: DC 24В

Електрична схема розробленого джерела живлення мікроплазмової установки наведена у додатку Б.

Висновки

В роботі виконано розробку джерела живлення імпульсної установки для локальної термічної обробки, нанесення покриттів, наплавлення, мікроплазмового зварювання.

Були розроблені: структурна схеми імпульсної мікроплазмової установки, електричні схеми силового імпульсного блоку, високовольтного джерела і системи управління.

При розробці використовувалися системний аналіз і моделювання.

Список літератури

1. Жартовський О. В. Автоматизація налагодження и контролю режиму роботи установки електрофізичної обробки / О. В. Жартовський, В. І. Кравченко М. Ю. Боровиков. Збірник наукових праць. - Краматорськ - ДДМА. Вип. №2 (46), 2019. С. 130 - 134.
2. Жартовський, А. В. Експериментальна установка для електрофізичної обробки матеріалів / А. В. Жартовський, В. В. Державецький, А. Г. Ковган. Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. - Краматорськ - ДДМА. Вип. №34, 2014. С. 130 - 134.
3. Жартовський, О. В. Автоматизована система вимірювання енергетичних показників імпульсного електричного Струму / Технічні науки та технології / О. В. Жартовська, В. І. Кравченко, О. В. Ларічкін, Ж. Г. Карягін, // Чернігів. Нац .. технол. Ун - т., Чернігів: ТЗХ ЧНТУ. 2018. - №2 (12). - с.167 - 175.
4. Коваленко, А. В. Конспект лекцій з дисциплін «Ремонт транспортних ЗАСОБІВ», "Ремонт технічних засобів електричного транспорту" / А. В. Коваленко, М. А. Голтв'янській; Харк. Нац. Акад. .Міськ. Госп -ва. - Х .: ХНАМГ, 2009. - 107 с.
5. Фоміних, В. П. Ручна дугова зварка / В. П. Фоміних, А. П. Яковлев. Підручник - 7-е изд., Испр. і доп.- М .: Вища. шк., 1986.-288с.
6. Солонина, А. І. Основи цифрової обробки сигналів / А. І. Солонина, Д. А. Улаховіч, С. М. Арбузов, Е. Б. Соловйова, І. І. Гук. - СПб .: БХВ-Петербург, 2003. - 608 с .: іл. ISBN 5-94157-388-X.
7. Пасєка, М. С. Людино-машинний інтерфейс: конспект лекцій / М. С. Пасєка. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2015. - 194 с.

Додаток А. Розрахунок зворотньоходового трансформатора

Алгоритм розрахунку зворотньоходового трансформатора Т₁:

За час, так як скважність дорівнює 50%, ми повинні запасти в трансформаторі стільки енергії, що б її вистачило для підтримки вихідної напруги: $t = \frac{1}{50000} / 2 = 0.1 \cdot 10^{-6} \text{ с}$

$$A = \frac{P_{OUT}}{\eta \cdot f}$$

де P_{OUT} - вихідна потужність трансформатора, 0.3Вт;

η - ККД трансформатора, що дорівнює 95%;

f - частота роботи осцилятора, 50кГц.

A струм при доданому вхідній напрузі за час t :

$$I = \frac{dI}{dt} = \frac{V_{IN} \cdot t}{L_{PRI}}$$

де V_{IN} - вхідна напруга, 15В;

L_{PRI} - індуктивність первинної обмотки трансформатора Т₁.

Поєднавши ці дві формули можемо знайти індуктивність первинної обмотки:

$$L_{PRI} = \frac{V_{IN}^2 \cdot t^2 \cdot \eta \cdot f}{2 \cdot P} = \frac{24^2 \cdot (0.1 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 0.95 \cdot 50000}{2 \cdot 0.3} = 0.46 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$$

І тепер струм первинної обмотки:

$$I_{PRI} = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\eta \cdot f \cdot L_{PRI}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.3}{0.95 \cdot 50000 \cdot 0.46 \cdot 10^{-6}}} = 5.24 \text{ А}$$

Середньоквадратичне значення струму в первинному ланцюзі:

$$I_{RMS} = I_{PRI} \cdot \sqrt{\frac{D}{3}} = 5.24 \cdot \sqrt{\frac{0.5}{3}} = 2.14 \text{ А}$$

де D - коеф. скважності, дорівнює 0.5.

Індуктивність вторинної обмотки:

$$L_{SEC} = \frac{V_{OUT} \cdot t^2 \cdot f}{2 \cdot I_{OUT}} = \frac{3000 \cdot (0.1 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 50000}{2 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = 7.5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

Струм у вторинній обмотці трансформатора:

$$I_{SEC} = \frac{V_{OUT} \cdot t}{L_{SEC}} = \frac{3000 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}}{7.5 \cdot 10^{-3}} = 40 \text{ мА}$$

При цьому коефіцієнт трансформації буде дорівнює:

$$K = \sqrt{\frac{L_{PRI}}{L_{SEC}}} = \sqrt{\frac{0.46 \cdot 10^{-6}}{7.5 \cdot 10^{-3}}} = 7.8 \cdot 10^{-3}$$

Напруга на силовому ключі Q₁ в момент роботи трансформатора:

$$V_{Q1} = V_{IN} + V_{OUT} \cdot K = 24 + 3000 + 7.8 \cdot 10^{-3} = 47.4 \text{ В}$$

Вибираємо Ш-подібний сердечник EFD-25 марки фериту N87 фірми Epcos, що володіє низькими втратами при розмаху індукції аж до 0,25-0,3Т. з наступними характеристиками:

Індуктивність на виток, нН / T2	160
Мін. площа перерізу, мм2	57

Кількість витків у первинній обмотці трансформатора:

$$N_1 = \sqrt{\frac{L_{PRI}}{A_L}} = \sqrt{\frac{0.46 \cdot 10^{-6}}{160 \cdot 10^{-9}}} = 1.69 \text{ витків}$$

Так як вийшло число не ціле, приймемо N₁ = 2 витків, тоді потрібно виконати зворотний розрахунок для визначення струму і індуктивності в первинній обмотці.

$$L_{PRI} = N_1^2 A_L = 2^2 \cdot 160 \cdot 10^{-9} = 0.64 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$$

$$I_{PRI} = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\eta \cdot f \cdot L_{PRI}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.3}{0.95 \cdot 50000 \cdot 0.64 \cdot 10^{-6}}} = 4.44 \text{ А}$$

$$K = \sqrt{\frac{L_{PRI}}{L_{SEC}}} = \sqrt{\frac{0.64 \cdot 10^{-6}}{7.5 \cdot 10^{-3}}} = 9.2 \cdot 10^{-3}$$

$$V_{DS} = V_{IN} + V_{OUT} \cdot K = 24 + 3000 + 9.2 \cdot 10^{-3} = 51.6 \text{ В}$$

Індуктивність в первинній обмотці піднялася і струм також, отже, споживаний зменшився, при цьому збільшилися не суттєво коеф. перетворення та напругу на силовому ключі.

Кількість витків у вторинній обмотці:

$$N_2 = \sqrt{\frac{L_{SEC}}{A_L}} = \sqrt{\frac{7.5 \cdot 10^{-3}}{160 \cdot 10^{-9}}} = 216 \text{ витків}$$

Підведемо підсумок:

Первинна обмотка:

$$N_1 = 2 \text{ витків}$$

$$t = 0.1 \text{ мкс}$$

$$L_{PRI} = 0.64 \text{ мГн}$$

$$I_{PRI} = 4.44 \text{ А}$$

$$V_{DS(MAX)} = 51.6 \text{ В}$$

Вторинна обмотка:

$$N_2 = 216 \text{ витків}$$

$$t = 0.1 \text{ мкс}$$

$$L_{SEC} = 7.5 \text{ мГн}$$

$$I_{SEC} = 40 \text{ мА}$$

На трансформатор спочатку мотається первинна обмотка проводом проводом 1.5мм², а саме ПЕТВ-0.16 (AWG35). Потім вторинну в один шар, щоб уникнути появи небажаної паразитної ємності трансформатора. Для вторинної обмотки вибираємо провід діаметром 0.05мм.

Вільний простір на каркасі сердечника становить: 16.4мм - 2 * 3 мм = 10.4мм, виходячи з розмірів сердечника. Діаметр дроту з ізоляцією: 10.4мм = 216 витків * 0.05мм, відповідний провід ПЕТ-155 з емалевою ізоляцією.

Додаток Б. Електрична схема джерела живлення мікроплазмової установки

